

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 43 06 920 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 01 S 13/90
G 01 S 13/10
G 01 S 7/295
B 64 D 45/00

②1 Aktenzeichen: P 43 06 920.7
②2 Anmeldetag: 5. 3. 93
④3 Offenlegungstag: 8. 9. 94

DE 43 06 920 A 1

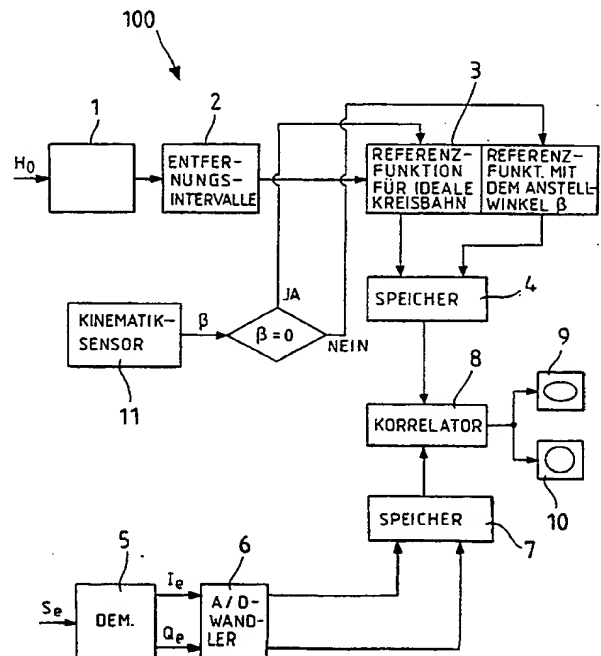
⑦1 Anmelder:
Deutsche Aerospace AG, 85521 Ottobrunn, DE

⑦2 Erfinder:
Klausing, Helmut, Dipl.-Ing. Dr., 83043 Bad Aibling, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Radargerät mit synthetischer Apertur auf der Basis rotierender Antennen

⑤7 Die Erfindung bezieht sich auf ein ROSAR-Gerät, dessen Prozessor zur Korrektur der von einer regelmäßigen Kreisbahn abweichenden Rotorblattbewegungen und damit der Eliminierung zusätzlicher Dopplermodulationen der Empfangssignale ein Kinematiksensor zugeordnet wird. Ein Ausführungsbeispiel ist erläutert und die Figuren der Zeichnung ergänzen diese Erläuterungen.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 07. 94 408 036/322

7/35

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Radargerät mit synthetischer Apertur auf der Basis rotierender Antennen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Durch die DE-PS 39 22 086 ist ein solches Gerät durch die Anmelderin bekannt geworden, bei dem mindestens eine Antenne zum Senden und Empfangen von Radarimpulsen am Ende eines rotierenden Armes — beispielsweise eines Hubschrauberrotors oder eines Drehkreuzes oberhalb der Rotorachse — angeordnet ist. Die empfangenen Signale werden demoduliert und zwischengespeichert und anschließend mit Referenzfunktionen korreliert, welche in Abhängigkeit von der Beleuchtungsgeometrie des Radargerätes errechnet oder vorgegeben werden.

Parameter hierfür sind die zu vermessenden Entfernungsintervalle, die Sendefrequenz, die Länge des rotierenden Armes, der Drehwinkelbereich der Antenne aus dem Signale rückempfungen werden, ferner die Anzahl der Sendeimpulse sowie die Höhe der rotierenden Antenne über Grund. Das Korrelationsergebnis wird angezeigt, beispielsweise auf einem Monitor.

Ein derartiges Radargerät kann in Echtzeit im On-line-Betrieb eingesetzt und nach entsprechenden Modifikationen somit etwa neben der Landehilfe und der Hinderniswarnung auch der Zielaufklärung und der Zielverfolgung dienen. Der Prozessor dieses bekannten Gerätes weist mehrere Bausteine und Schaltungen auf, um diese vielfältigen und komplexen Rechenaufgaben zu unterteilen und dadurch — wie bereits erwähnt — die Echtzeitnähe oder den On-line-Betrieb zu gewährleisten. Hierbei wird das Ergebnis für jedes Entfernungsintervall stets durch Korrelation des Empfangssignals mit einer für dieses Entfernungsintervall gültigen Referenzfunktion erhalten. Die Auflösung eines solchen Gerätes in lateral er und radialer Richtung wird — wie ausführlich erläutert — durch teilweise miteinander verkoppelte Parameter bestimmt.

Bei der bisher durchgeführten ROSAR-Signalbearbeitung ist von einer idealen Kreisbahn mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ausgegangen worden. Nun hat es sich jedoch gezeigt, daß die Blattspitzen während eines Umlaufs von einer regelmäßigen Kreisbahn nicht zu unterschätzende Abweichungen aufweisen und infolge der aerodynamischen Verhältnisse auch stochastische Bewegungen durchführen, die eine zusätzliche Dopplermodulation des Empfangssignals verursachen. Da die Referenzfunktion jedoch für eine ebene Drehbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit berechnet ist, wird das Ergebnis der Korrelation zwischen Empfangssignal und Referenzfunktion verschlechtert bzw. "verschmiert". Das Korrelationsergebnis und damit die Lateralauflösung wird schlechter, wenn die Abweichung von der idealen Kreisbahn größer wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein ROSAR-Gerät der eingangs genannten Art zu schaffen, bei dem die vorbeschriebenen Mängel eliminiert werden und zur Korrektur die von der idealen Kreisbahn abweichenden Rotorblattbewegungen während eines Umlaufs im Referenzsignal berücksichtigt werden.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 aufgezeigten Maßnahmen gelöst. In den Unteransprüchen sind Ausgestaltungen und Weiterbildungen angegeben und in der nachfolgenden Beschreibung sind Ausführungsbeispiele erläutert. Die Figuren der Zeichnung ergänzen diese Erläuterungen. Es zeigen:

Fig. 1 ein Schaubild einer Beleuchtungsgeometrie zur Berechnung des Entfernungsverlaufs in Seiten- und Draufsicht mit einem Anstellwinkel β bei $\alpha = 0^\circ$,

Fig. 2 ein Diagramm eines Ausführungsbeispiels für den Verlauf der Differenz $\alpha_p - \alpha$ zwischen dem projizierten Drehwinkel am Boden $\alpha_p(t)$ und dem Drehwinkel in der Rotorblattebene α für eine Rotorlänge L von 6 m und einem Anstellwinkel β als Variable, wobei der gewählte Öffnungswinkel der Antenne in Azimut 46° beträgt,

Fig. 3 ein Diagramm gemäß Fig. 2 für die Projektion der Rotorblattlänge am Boden $L_p(t)$ als Funktion des Anstellwinkels β für einen Umlauf,

Fig. 4 ein Diagramm gemäß Fig. 2 für den zusätzlichen Höherenterm $\Delta H(t)$ als Funktion des Anstellwinkels β für einen Umlauf,

Fig. 5 ein Diagramm gemäß Fig. 2 für das Ergebnis der Korrelation $S_{OB}(\alpha_r)$ zwischen dem durch einen Anstellwinkel β modulierten Empfangssignal und der für die ebene Drehbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit berechneten Referenzfunktion für verschiedene Werte von β als Funktion der Winkelverschiebung α_r ,

Fig. 6 ein Schaltbild des Prozessors für das beschriebene ROSAR-Gerät in schematischer Darstellung,

Fig. 7 ein Schaltbild eines Ausführungsbeispiels von einem Prozessor zur Berechnung der Referenzfunktion infolge der durch den Anstellwinkel β geänderten Beleuchtungsgeometrie.

Die Fig. 1 zeigt die Beleuchtungsgeometrie zur Berechnung des Entfernungsverlaufes und damit der Referenzfunktion mit dem Anstellwinkel β . Als Beispiel für die Abweichung von der idealen Kreisbahn wird ein Anstellwinkel (Nickwinkel) β der Rotorblattspitze beim Durchgang des Rotorblattes in Richtung des Objektes, d. h. bei $\alpha = 0^\circ$, angenommen.

Die Projektion des Drehwinkels am Boden $\alpha_p(t)$ errechnet sich mit Hilfe der projizierten Rotorblattlänge L_{pO} bei $\alpha = 0^\circ$, d. h. mit

$$L_{pO} = \cos \beta \cdot L,$$

und $\alpha = \omega_0 \cdot t$ folgendermaßen:

$$\alpha_p(t) = \arccos \left[\frac{L_{p0}}{L} \cdot \frac{\sqrt{L^2 - (L \cdot \sin \omega_0 t)^2}}{\sqrt{L_{p0}^2 + (L \cdot \sin \omega_0 t)^2 \cdot \left(1 - \frac{L_{p0}^2}{L^2}\right)}} \right]$$

5

Die Projektion $L_p(t)$ der Rotorblattlänge L bei einem beliebigen Drehwinkel $\alpha = \omega_0 \cdot t$ beträgt dann

10

$$L_p(t) = \sqrt{L_{p0}^2 + (L \cdot \sin \omega_0 t)^2 \cdot \left(1 - \frac{L_{p0}^2}{L^2}\right)}$$

15

Die Höhe $H(t)$ berechnet sich als Funktion des Anstellwinkels β wie folgt

$$H(t) = H_0 + L \cdot \sin \beta \cdot \cos \omega_0 t.$$

Die Größe $\Delta H(t) = L \cdot \sin \beta \cdot \cos \omega_0 t$ stellt einen zusätzlichen Höhenterm dar, der sich für einen vorgegebenen Anstellwinkel β mit dem Drehwinkel α ändert. Mit Hilfe dieser Größen erhält man die Schrägentfernung R_{s0} bei $\alpha = 0^\circ$:

20

$$R_{s0} = \sqrt{L_{p0}^2 + R_{gn}^2 - 2 \cdot L_{p0} \cdot R_{gn} + (H_0 + L \cdot \sin \beta)^2}.$$

25

Hierbei ist R_{gn} die Entfernung zwischen Hubschrauber-Mittelpunkt und dem Ziel für das jeweilige Entfernungsintervall mit der Nummer n bei $\alpha = 0^\circ$.

Für die Schrägentfernung $R_A(t)$ zwischen der Rotorblattspitze und einem Objekt am Boden findet man bei einem beliebigen Drehwinkel α den Ausdruck

30

$$R_A(t) = \sqrt{L_p^2(t) + R_{gn}^2 - 2 \cdot L_p(t) \cdot R_{gn} \cdot \cos \alpha_p(t) + H^2(t)}.$$

35

Die Projektion des Drehwinkels $\alpha_p(t)$ und der Rotorblattlänge $L_p(t)$ am Boden beeinflusst zusammen mit dem zusätzlichen Höhenterm $\Delta H(t)$ die Beleuchtungsgeometrie.

Die Fig. 2 bis 5 zeigen Meßaufzeichnungen eines Ausführungsbeispiels für eine vorgegebene Rotorlänge L von 6 m und einem vorgegebenen Anstellwinkel β als Variable. Der gestrichelte Bereich gilt für einen Öffnungswinkel der Antenne in Azimut $\gamma = 46^\circ$. Hierbei zeigt die Fig. 2 mit $\alpha = \omega_0 t$ den Verlauf der Differenz $\alpha_p - \alpha$ zwischen dem projizierten Drehwinkel am Boden $\alpha_p(t)$ und dem Drehwinkel in der Rotorblattebene α als Funktion von β für einen Umlauf.

40

Die fig. 3 veranschaulicht die Projektion der Rotorblattlänge am Boden $L_p(t)$ als Funktion des Anstellwinkels β für einen Umlauf und die Fig. 4 zeigt den zusätzlichen Höhenterm $\Delta H(t)$ als Funktion des Anstellwinkels β für einen Umlauf.

45

Die Referenzfunktion $S_{RA}(t)$, welche die Abweichungen von der idealen Kreisbahn berücksichtigt, lautet mit dem Entfernungsverlauf $R_A(t)$:

$$S_{RA}(t) = I_{RA}(t) + j \cdot Q_{RA}(t)$$

50

mit der Inphasekomponente

$$I_{RA}(t) = \cos(4 \pi / \lambda \cdot R_{RA}(t))$$

55

und der Quadraturkomponente

$$Q_{RA}(t) = \sin(4 \pi / \lambda \cdot R_{RA}(t)).$$

60

Wird nun mit dieser, der veränderten Beleuchtungsgeometrie angepaßten, Referenzfunktion korreliert, so erhält man wieder die volle Auflösungsfähigkeit des ROSAR-Systems.

Aus Fig. 5 sind für verschiedene Werte von β die Ergebnisse der Korrelation $S_{OB}(\alpha_r)$ zwischen dem durch einen Anstellwinkel β modulierten Empfangssignal und der für die ebene Drehbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit berechneten Referenzfunktion mit $\lambda = 0,23$ m, $R_{gn} = 265$ m und $H_0 = 2,5$ m bei einem Öffnungswinkel der Antenne $\gamma = 46^\circ$ als Funktion der Winkelverschiebung α_r dargestellt. Dies zeigt, daß in diesem Fall nicht mit einer an β angepaßten Referenzfunktion $S_{RA}(t)$ gearbeitet wurde. Für Entfernungen zum Ziel R_{gn} , die groß gegen die Rotorlänge L und die Höhe H_0 sind, folgt die vereinfachte Referenzfunktion mit der

65

Inphase ($\bar{I}_{RA}(t)$)- und Quadraturkomponente ($\bar{Q}_{RA}(t)$):

$$\bar{I}_{RA}(t) = \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda} \cdot L_P \cdot (1 - \cos \alpha_p)\right)$$

und

$$\bar{Q}_{RA}(t) = \sin\left(\frac{4\pi}{\lambda} \cdot L_P \cdot (1 - \cos \alpha_p)\right).$$

Nähere Erläuterungen bezüglich des Taktes, der Digitalisierung usw. sind in der DE-PS 39 22 086 gebracht und nicht Gegenstand des Schutzbegehrens.

Das Schaltbild eines Prozessors für ein ROSAR-Gerät gemäß Fig. 6 zeigt in seiner oberen Hälfte einen ersten Kanal mit denjenigen Bausteinen, die zur Erzeugung der Referenzfunktionen vorgeschlagen sind und in seiner unteren Hälfte einen zweiten Kanal mit denjenigen Bausteinen, die dem Empfang der am Boden reflektierten Signale dienen. So ist im ersten Kanal ein Geometriebaustein 1 vorgesehen, der anhand der Höhe H_0 der Antenne über Grund und anderer Parameter, insbesondere dem Depressionswinkel, dem Inklinationswinkel und der Länge des Rotorarmes, verschiedene Größen und Funktionen berechnet und einer Prozessorschaltung 2 zum Aufteilen des ausgeleuchteten Gebietes in einzelne Entfernungsintervalle zuführt. Diese Prozessorschaltung 2 ist mit einem Prozessorbaustein 3 verbunden, in dem anhand der Ausgangssignale dieser Schaltung 2 die Referenzfunktionen für die einzelnen Entfernungsintervalle berechnet und in einen Speicher 4 übertragen werden. Im zweiten Kanal werden die Echosignale S_e einem Quadraturdemodulator 5 zugeführt und in die Inphase- und Quadraturkomponente I_e bzw. Q_e zerlegt. Die beiden Komponenten werden Analog-Digital-Wandlern 6 zugeführt, an deren Ausgang dann diskrete Abtastwerte vorliegen. Diese komplexen Echosignale werden dann für die Korrelation in einen Speicher 7 übertragen. In diesem Speicher 7 werden die Empfangssignale S_E für die jeweiligen Entfernungsintervalle aus den zu diesen Intervallen zugehörigen Echosignalen S_e zusammengefügt. Die jeweils in den Speichern 4 bzw. 7 abgelegten Signale werden synchron einem Korrelator 8 zugeführt und korreliert. Das Korrelationsergebnis wird an einer Anzeige, z. B. einem Monitor 9, dargestellt und/oder weiter einem Auswertegerät 10 zugeführt.

Hinsichtlich der näheren Funktion, insbesondere hinsichtlich der Aufteilung der Referenzfunktionen auf einzelne Entfernungsintervalle und deren Berechnung wird auf die oben genannte DE-PS 39 22 086 verwiesen.

Zusätzlich wird zu den beschriebenen Bausteinen, wie die Fig. 6 veranschaulicht, ein Kinematiksensor 11 zugeschaltet. Dieser Sensor 11 liefert den Wert eines vorhandenen Anstellwinkels β . Ist dieser Winkel β ungleich Null, so wird die — der durch β veränderten Beleuchtungsgeometrie angepaßten — Referenzfunktion erzeugt. Zur Berechnung der zugehörigen Beleuchtungsparameter wird auf die Druckschrift: Dr.-Ing. H. Klausning — "Realisierbarkeit eines Radars mit synthetischer Apertur durch rotierende Antennen" — MBB-UA-1150-89-Pub verwiesen.

Die Prozessorschaltung, wie sie in Fig. 7 gezeigt ist, führt die Berechnung der — infolge des Anstellwinkels β an die geänderte Beleuchtungsgeometrie angepaßte — Referenzfunktion durch. Hierbei erfaßt der Kinematiksensor 11 den jeweils aktuellen Anstellwinkel β und überträgt ihn auf die Bausteine 12a und 12b zum Berechnen der projizierten Rotorblattlänge L_{p0} bei $\alpha = 0^\circ$ und der Höhendifferenz ΔH . Die projizierte Rotorblattlänge L_{p0} wird den Bausteinen 13 und 14 eingegeben, die Höhendifferenz ΔH dem Baustein 15. Im Baustein 13 wird die projizierte Rotorblattlänge L_p als Funktion des Drehwinkels α und der Rotorblattlänge L berechnet. Der Baustein 14 berechnet mit L_{p0} und der Rotorblattlänge L den projizierten Drehwinkel am Boden α_p als Funktion des Drehwinkels α .

Mit Hilfe von L_p und α_p und weiterer Größen, wie Entfernung zum jeweiligen Entfernungsintervall R_{gn} , der Höhe über Grund H_0 bei $\beta = 0^\circ$, der Höhenabweichung ΔH bei $\alpha = 0^\circ$ und der Rotorblattlänge L wird im Baustein 15 der Entfernungsverlauf R_A berechnet. Mit Hilfe des Entfernungsverlaufes R_A wird im Baustein 16 die Inphase (I_{RA})- und die Quadraturkomponente Q_{RA} der Referenzfunktion $S_{RA} = I_{RA} + j \cdot Q_{RA}$ berechnet. Die Arbeitsweise des gesamten Prozessors wird durch den Taktgeber 17 gesteuert.

Patentansprüche

1. Radargerät mit synthetischer Apertur auf der Basis rotierender Antennen (ROSAR) mit mindestens einem Sender, einem Empfänger sowie einer Antenne zum Senden und Empfangen von Radarimpulsen am Ende eines rotierenden Armes eines Hubschrauberrotors oder eines Drehkreuzes oberhalb der Rotorachse und einem Prozessor, in dessen erstem Kanal die Referenzfunktionen für verschiedene Entfernungsintervalle erzeugt werden und in dessen zweitem Kanal die am Boden reflektierten Signale empfangen werden, alle Signale in Speicher eingehen, von wo sie synchron einem Korrelator zugeführt, das Korrelationsergebnis angezeigt und ausgewertet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Korrektur der von der idealen Kreisbahn abweichenden Rotorblattbewegungen während eines Umlaufs dem Prozessor (100) ein Kinematiksensor (11) zugeordnet ist, der laufend den aktuellen Anstellwinkel β der Rotorblätter mißt und bei einem Wert größer als Null den Bausteinen (12a, 12b) zum Berechnen der projizierten Rotorblattlänge L_{p0} bei $\alpha = 0^\circ$ und der Höhendifferenz ΔH zuführt und diese Signale den Bausteinen (13, 14, 15) eingibt, wo im Baustein

(13) die projizierte Rotorblattlänge L_p als Funktion des Drehwinkels α und der Rotorblattlänge L berechnet wird und der Baustein (14) mit L_{p0} und der Rotorblattlänge L den projizierten Drehwinkel am Boden α_p berechnet.

2. Radargerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Kinematiksensord (11) ein Baustein (15) zugeordnet ist, in dem mit Hilfe von L_p und α_p und Größen wie die Entfernungen zum jeweiligen Entfernungintervall R_{gn} , der Höhe über Grund H_0 bei $\beta = 0^\circ$, der Höhenabweichung ΔH und der Rotorblattlänge L der Entfernungsverlauf R_A berechnet wird.

3. Radargerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß dem Baustein (15) ein weiterer Baustein (16) zugeordnet ist, in dem mit Hilfe des ermittelten Entfernungsverlaufs R_A die Inphase (I_{RA})- und die Quadraturkomponente (Q_{RA}) der Referenzfunktion

$$S_{RA} = I_{RA} + j \cdot Q_{RA};$$

berechnet wird.

4. Radargerät nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Radargerät von einem Taktgeber (17) gesteuert wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

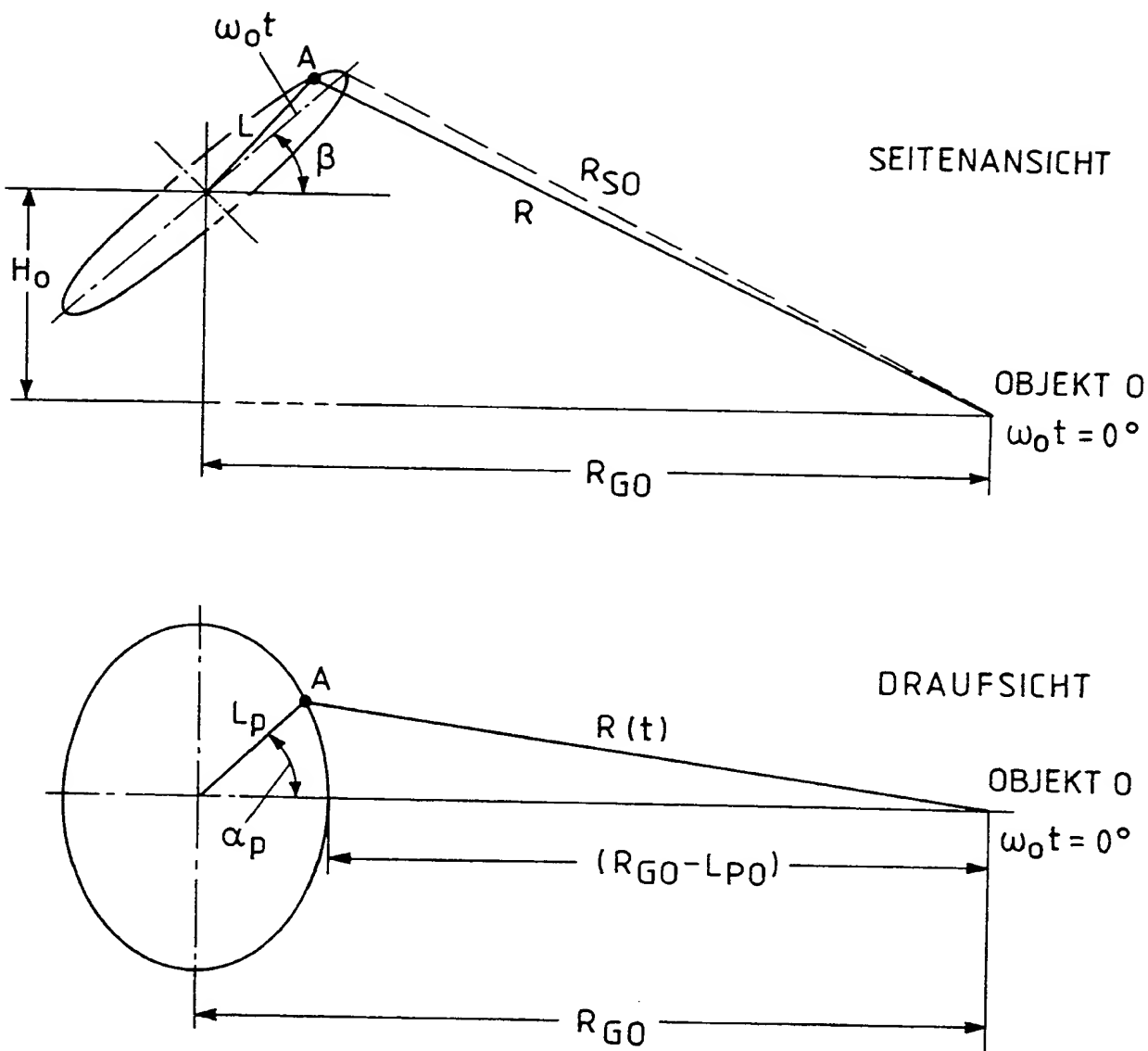
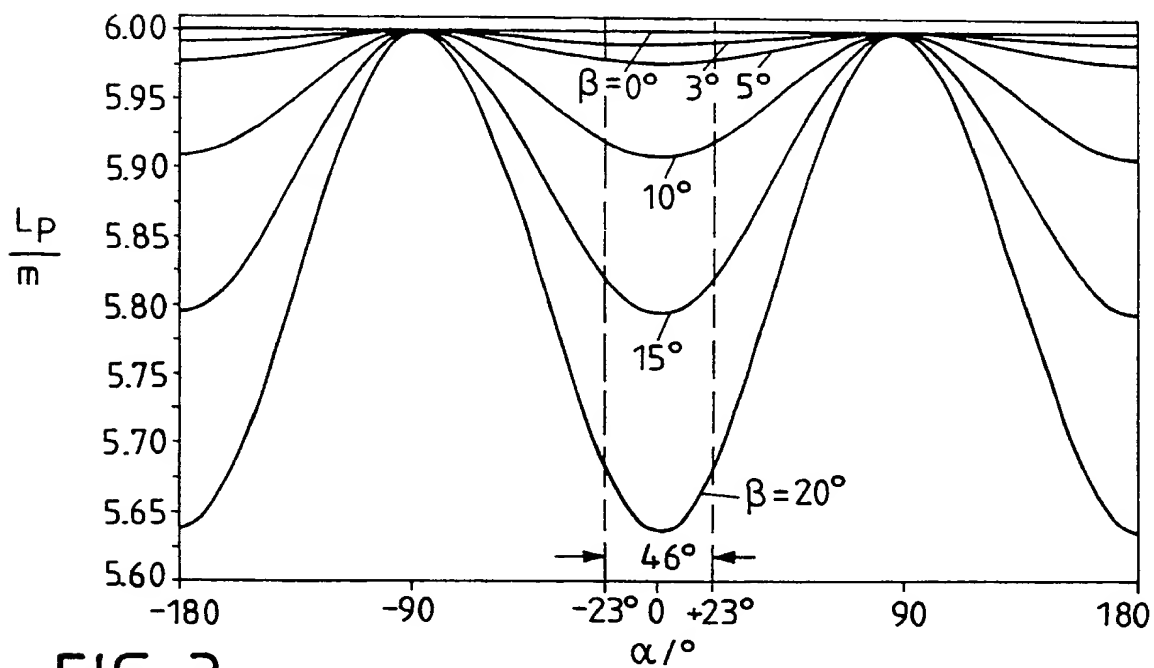
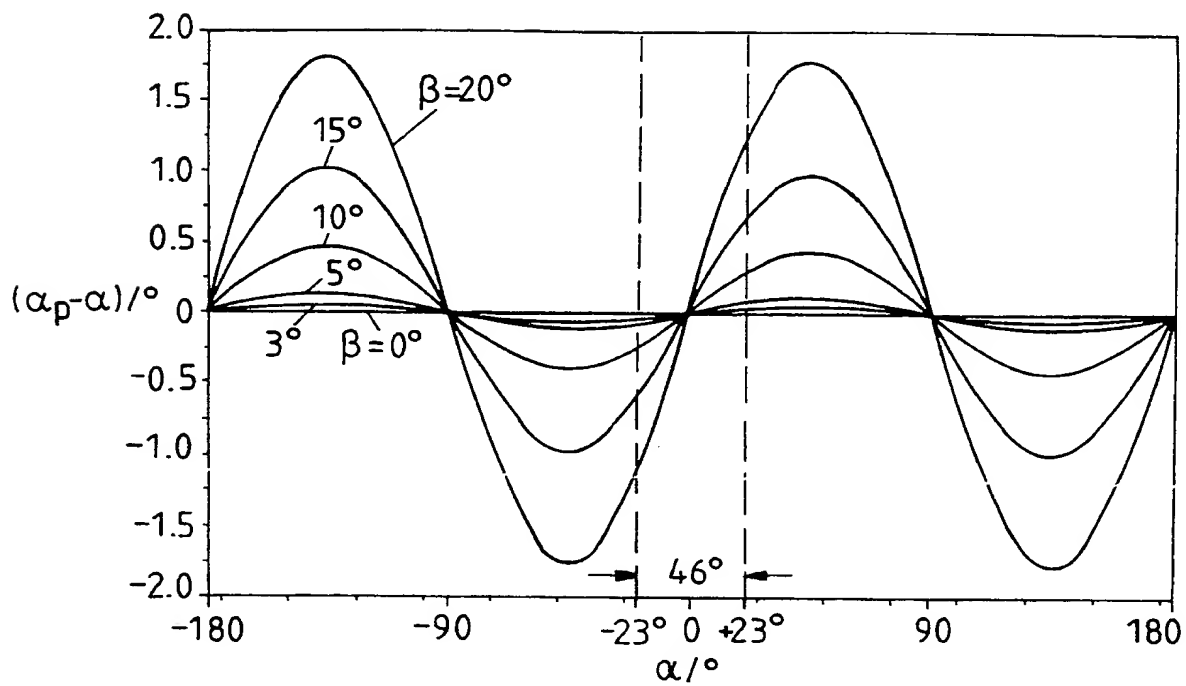
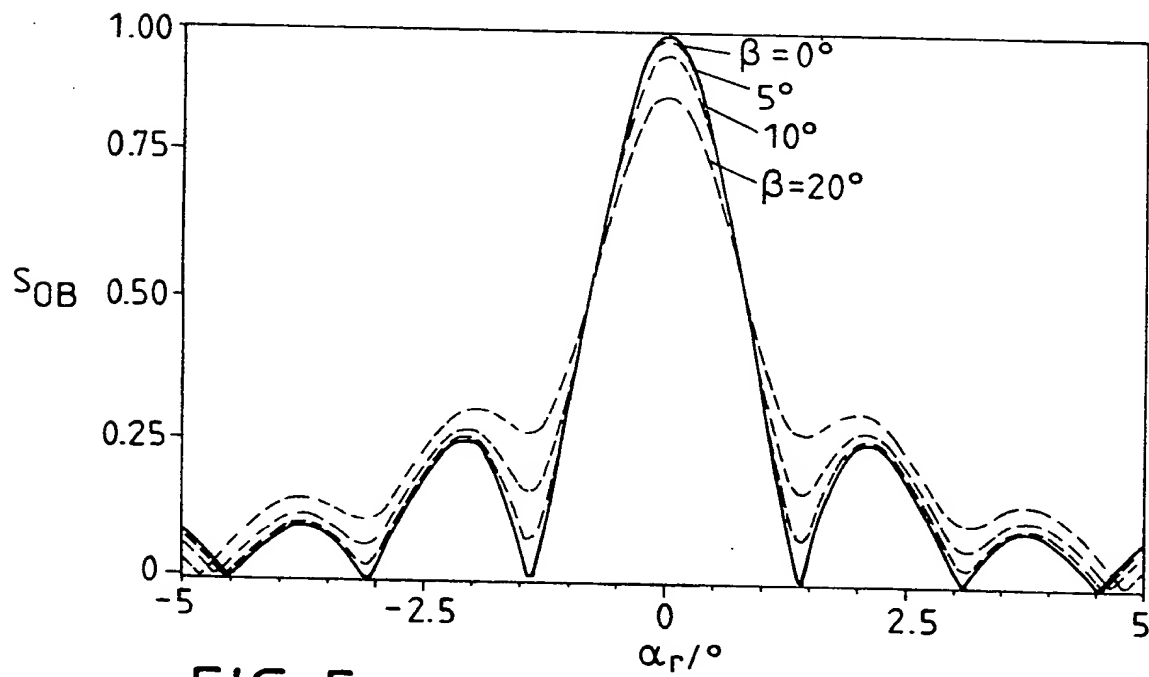
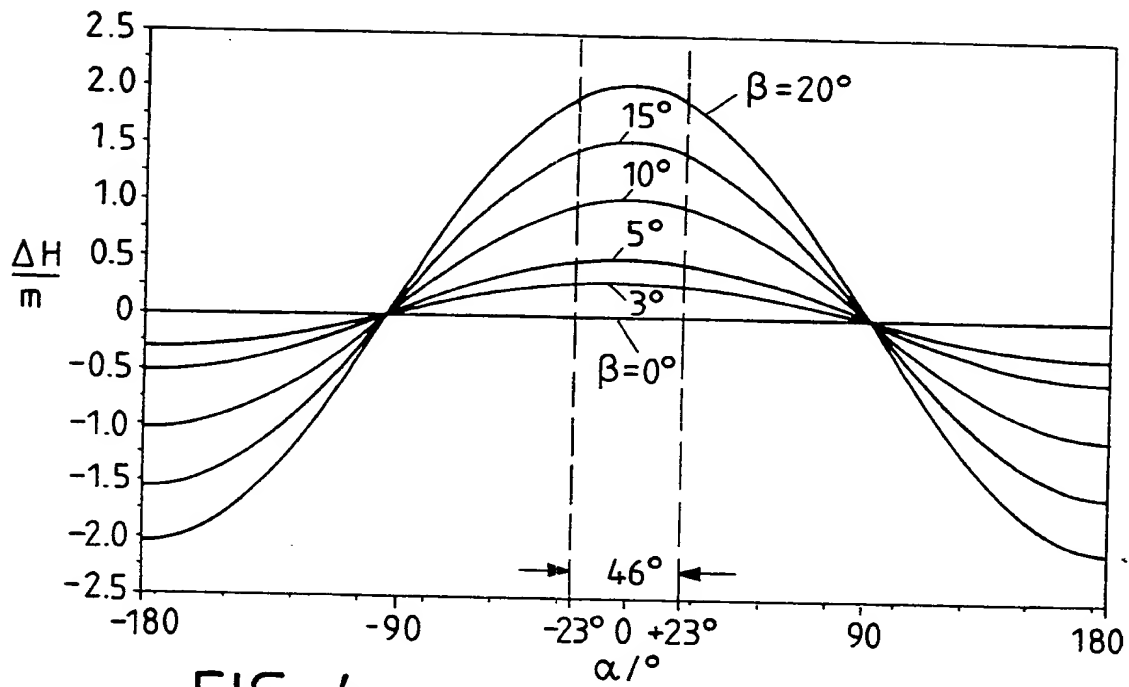


FIG. 1





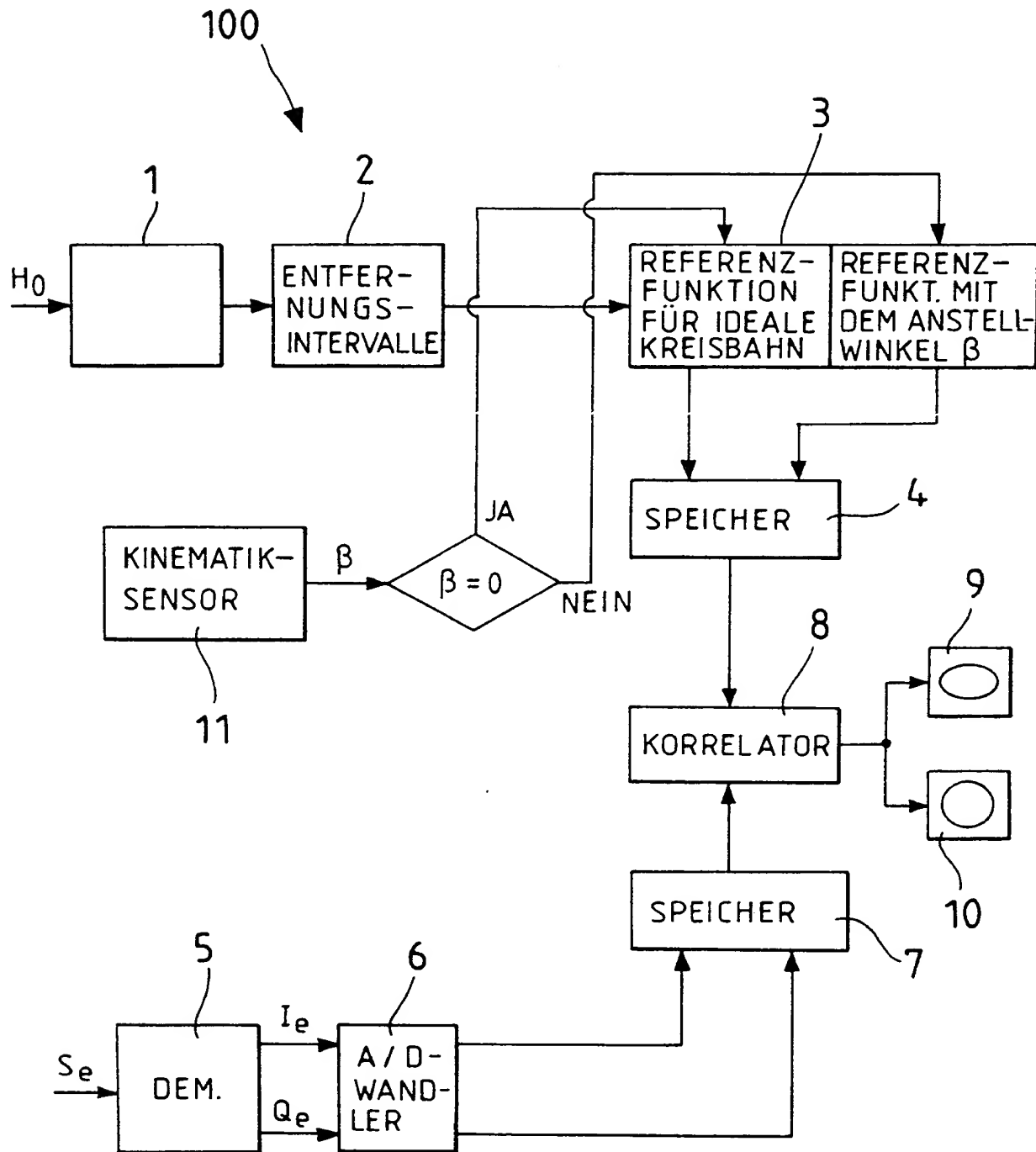


FIG. 6

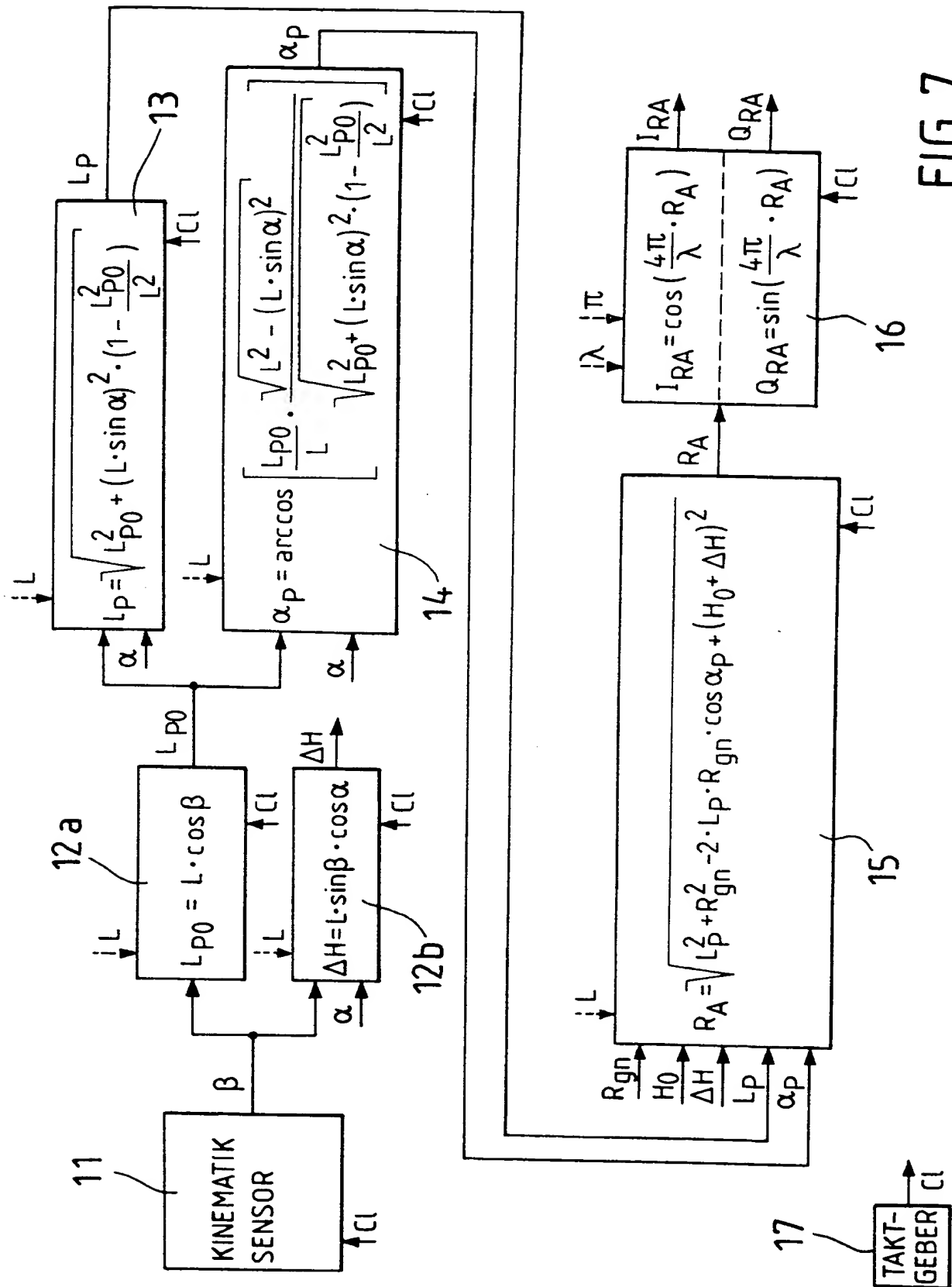


FIG. 7